

FIRMAS INVITADAS**LA CONSTRUCCIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES COMO ALTERNATIVA TÉCNICA A LOS VERTEDEROS DE INERTES Y DE RESIDUOS NO PELIGROSOS****BAO IGLESIAS, Manuel**
CAÍNZOS FERNÁNDEZ, José Angel**1. TIPOS DE RESIDUOS**

Desde el punto de vista de sus características, los residuos, de acuerdo con la normativa Europea, se clasifican en:

- Residuos inertes. – Aquellos que, una vez depositados en un vertedero, no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas y que cumplen con los criterios de eluato establecidos en la tabla I de la Ley 29/1985 de Aguas, de 2 de agosto, modificada por la Ley 46/1999, de 13 de diciembre, derogada por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.
- Residuos peligrosos.- Todo residuo comprendido en el ámbito de aplicación de la directiva 78/319/CEE del Consejo de 20 de marzo de 1978 (DO nº L 84 de 31.3.1978) relativa a los residuos tóxicos y peligrosos. La tabla I especifica los límites de composición admisibles, pero además son residuos peligrosos los definidos por su procedencia como envases vacíos que hubieran contenido un producto tóxico o peligroso.
- Residuos no peligrosos.- En general corresponde esta definición a residuos que superan las concentraciones de eluato correspondientes a los inertes y no alcanzan los límites establecidos en la definición de peligrosos. En la Tabla II se establecen los procedimientos analíticos normalizados para los diferentes parámetros a determinar.

2. MODO ACTUAL DE ACONDICIONAMIENTO

La filosofía a aplicar en el tema de los residuos es, teóricamente, simple, y está ampliamente aceptada en función de toda una jerarquía de prioridades de actuación en la que prima, esencialmente, el concepto de reducción en la producción, tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la peligrosidad, seguida de la maximización en la reutilización y reciclado de tal modo que vayan a vertedero la menor cantidad posible y que esta cantidad esté estabilizada. No profundizamos en la filosofía por entender que es algo suficientemente conocido y sobre la que existe documentación abundante.

La cuestión que queremos considerar es el claramente insuficiente nivel de operatividad de una filosofía tan aceptada y ya tan antigua. En nuestros días estamos asistiendo a la presentación de plantas para tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) que, probablemente, son uno de los residuos más fáciles de reintroducir en el propio mercado de la construcción del que proceden aplicando tratamientos muy elementales y muy conocidos.

Al tratarse de residuos, en general, no combustibles, el esquema de jerarquías de tratamiento, prácticamente, salta desde la posibilidad actual de un reciclado mínimo al acondicionamiento en vertedero, normalmente de inertes y de superficie en un tipo de actuación claramente no sostenible que tiende a aumentar la superficie no utilizable para los fines propios del suelo. No es adecuada la utilización de canteras o minas abandonadas ya que, en su caso, cada una de las actividades mencionadas tendría, o debería haber tenido, un plan de restauración exigible en el momento del abandono de la actividad-actualmente se exige para la apertura o continuación de la misma imponiendo avales para garantizar su correcta aplicación- mientras que la transformación en vertederos limita sensiblemente el uso posible del suelo incluso después de sellado.

3. SOSTENIBILIDAD DE UNA ELABORACIÓN DE SUELOS ARTIFICIALES.

Es fácil el transmitir la imagen de nuestros ancestros que aterrazando laderas montañosas, formando bancales, construyendo muros de contención y formando socialcos, no sólo frenaban seriamente la erosión natural de muchas montañas, sino que, transportando la tierra desde zonas sedimentarias, muchas veces en sacos y a mano, hicieron cultivables lugares increíbles de los que tenemos ejemplos en todas nuestras regiones. Hoy sabemos que la necesidad de disponer de un soporte físico y la disponibilidad de nutrientes

puede ser satisfecha de modos muy diferentes y que muchas plantas se cultivan, en unos casos sin tierra soporte, actuando como tal unas láminas de plástico, por ejemplo, proporcionándoseles los nutrientes en disolución – cultivos hidropónicos-, en otros casos el soporte es una capa de arena esencialmente carente de cualquier nutriente, que actúa exclusivamente como soporte de la planta y, esta, obtiene los nutrientes necesarios de una masa de estiércol que alcanza con sus raíces. Ambos extremos responden al concepto de que un árido que no libere sustancias fitotóxicas, acondicionado granulométricamente para alcanzar una textura determinada y complementado con los nutrientes de liberación lenta y rápida adecuada para un cultivo específico puede comportarse como un suelo natural y en determinados aspectos, mejor que un suelo natural. La trituración de una roca no es algo diferente de su, mucho más lento, proceso de meteorización por el que se forma suelo de forma natural. La degradación de algunos minerales y la acción de la actividad microbiana sobre las hojas y restos vegetales en los bosques completa la formación de suelos distintos. En muchos casos, la formación o existencia previa de sustancias muy poco solubles como los sulfuros de la mayor parte de los metales pesados y de transición permite que, estos se comporten como inertes y no se manifieste, al menos en espacios no expuestos directamente a la radiación superficial, actividad tóxica rindiendo cosechas aceptables.

La situación descrita sucintamente en el párrafo anterior, claramente sostenible, permite mejorar la superficie cultivable, y en consecuencia se aumenta la fijación de carbono atmosférico, se controla la erosión del espacio tratado, se aumenta la retención hídrica y, por tanto se contribuye a la regulación de caudales, etc., puede verse sustancialmente alterada si los aportes efectuados al suelo no son adecuados desde el punto de vista de la toxicidad de carácter químico o de su actividad biológica. El control insuficiente de la composición química puede derivar en la presencia de concentraciones de cationes o aniones en forma solubilizable capaces de contaminar cauces de agua superficiales y subterráneas con daños de muy difícil reparación dependiendo de la dimensión del aporte nocivo efectuada. Más peligrosa aún puede ser la actividad derivada de la presencia de ciertos microorganismos que, por reproducción o por acumulación o por su capacidad de infección a concentraciones bajas, aportados en cantidades poco importantes, aparentemente, pueden derivar en daños cuantiosos en el ámbito de la salud y, este tipo de daño resulta, cada vez, más probable como consecuencia de los aumentos de densidad de población sea en humanos o en animales, de tal modo que la aparición de un brote infeccioso permite que el mal se propague a niveles clínicos o subclínicos extendiéndose con rapidez –favorecida por la enorme

movilidad actual- y afectando a grandes segmentos de la población considerada que no se protege con facilidad ya que el uso abusivo de antimicrobianos ha conducido a una situación en la que los microorganismos que provocan las enfermedades actualmente han adquirido una notable resistencia. Cada vez tenemos más resistencia en los microorganismos mientras que su número sólo es dependiente de los nutrientes disponibles en las condiciones de temperatura y humedad en que, cada uno se desarrolla.

La conclusión tecnológica es que la elaboración de suelo artificial y su empleo en cimas erosionadas y espacios degradados o, simplemente, en la mejora de suelos de cultivo es no sólo beneficiosa sino que, probablemente, supone una de las actuaciones más positiva desde el punto de vista de la sostenibilidad. No obstante, hemos de reconocer el riesgo ambiental que supone una formulación inadecuada en su composición o un fallo en la higienización del material empleado que debe ser controlado por la rigurosidad de unos procedimientos de autorización para cada actuación que garanticen una labor correcta. Procedimientos que tendrán dificultades de aceptación ya que deben alcanzar a toda deposición de material en los terrenos lo que altera seriamente las prácticas agrícolas actuales en determinadas zonas en las que es práctica habitual el uso de purines, estiércoles y lodos de depuración como fertilización sin control alguno microbiológico o con incumplimiento de las directivas en vigor.

4. VIABILIDAD ECONOMICA

Ante una aplicación determinada podemos encontrarnos con situaciones muy diferentes: En unos casos existe un sustrato de sólidos capaz de actuar de soporte de la vegetación y lo que falta son nutrientes, capacidad de retención hídrica etc. En otros casos tenemos roca blanda y es fácil su trituración in situ, probablemente con aceptable producción de finos y liberación de nutrientes y falta esencialmente materia orgánica. En otros casos nos encontramos con roca dura y, parece lo más adecuado, aportar todo el suelo. El suelo puede tener carácter ácido o alcalino, y las condiciones geográficas sugieren una recuperación orientada a uso forestal, a uso agrícola o a uso ganadero (pastizales) existiendo muchos otros matices en función de los aportes utilizables, distancias de acopio, necesidades de tratamiento e higienización, disponibilidad de instalaciones etc. La casuística es muy variada y podemos afirmar que, el uso forestal, aún en zonas de alta productividad como las buenas zonas de nuestra Comunidad Autónoma con producciones de entre 15 y 25 Tm. de madera por hectárea y año lo que suponen producciones del orden de 600 Euros por hectárea y año de los que habrá que deducir los

gastos de explotación, objetivamente, definen un valor del suelo no muy alejado de 6000 euros por hectárea. Si consideramos que un suelo forestal debe tener una profundidad superior a 40 cm., que dicha capa supone unas 6000 Tm por hectárea deducimos que el coste máximo del suelo para una aplicación así no puede superar 1 euro por Tm, lo que no es obtenible si el material ha de ser tratado, cargado, transportado y extendido aun suponiendo coste cero para el mismo. La aplicación a zonas de menor productividad resulta más negativa. La cuestión puede modificarse de dos formas, o producimos suelos más valiosos o, de entre los materiales que hemos de utilizar existen algunos que pueden tener coste negativo y, este, compensa el déficit general de la aplicación. El primer caso puede corresponder a la elaboración de suelos de cultivo de zonas especialmente favorecidas como las grandes denominaciones de origen de ciertos viñedos en los que el valor atribuible al suelo supera los 60.000 euros por hectárea o su equivalente de 10 euros por Tm., cantidad que ya permite un cierto grado de elaboración. El segundo caso corresponde a la utilización de ciertos materiales residuales como lodos de serrado de piedra ornamental, la conchilla de mejillón, estiércoles o purines higienizados, bagazos de destilación de la uva, residuos de limpieza de parques y jardines triturados y otras biomásas que, actualmente se acondicionan con dificultad y que pueden soportar un coste de acondicionamiento que permita cancelar el déficit del proceso en cuestión. En cualquier caso, el coste de acondicionamiento de los residuos industriales pueden ser el elemento de cierre del balance de todo el proceso de la aplicación considerada definiendo así la viabilidad económica.

5. BASES TECNICAS EN LA FORMULACION DE SUELOS ARTIFICIALES

5.1. Introducción.

El suelo se define como la parte más superficial de la corteza terrestre, con un espesor variable desde unos pocos centímetros hasta los dos o tres metros, en donde los reinos vegetal y animal establecen una relación íntima con el reino mineral. El suelo es una parte importante de la cadena alimenticia (figura 1) pues, los vegetales toman de él agua y nutrientes necesarios para su crecimiento, a continuación los animales usan estos vegetales como alimento y al final, los residuos de los animales y vegetales vuelven al suelo, en donde la materia orgánica se descompone por la acción de microorganismos, ayudando a la fertilización del mismo.

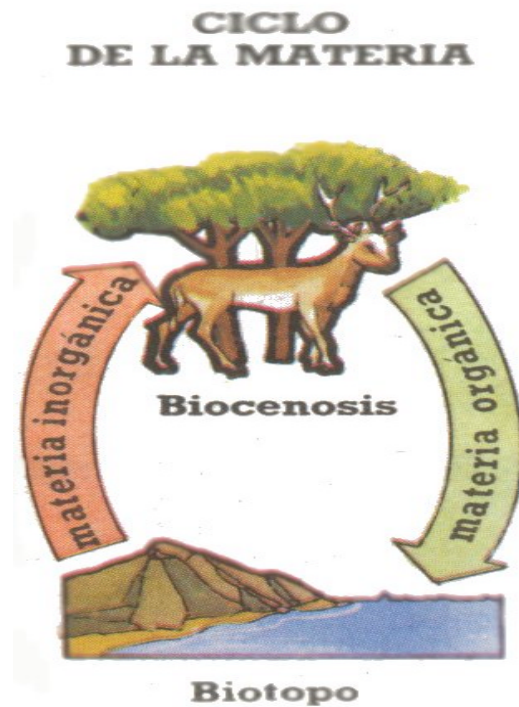


Figura 1: ciclo de la materia del que forma parte el suelo.

El suelo se origina a partir de la meteorización, conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, mediante los cuales las rocas expuestas al clima se desintegran, se descomponen y se sintetizan nuevos componentes de las rocas a lo largo del tiempo.

La meteorización se clasifica normalmente en:

- *Meteorización química:* Se caracteriza por la descomposición y transformación química de los materiales del suelo mediante procesos de disolución, hidrólisis, carbonatación, hidratación, oxidación-reducción y acción de microorganismos y raíces de plantas.
- *Meteorización física:* En este tipo de meteorización los materiales que constituyen o van a constituir el suelo sufren procesos de calentamiento y enfriamiento, congelación del agua intersticial, humedecimiento y secado de forma alternativa, trituración y acción de organismos vivos.

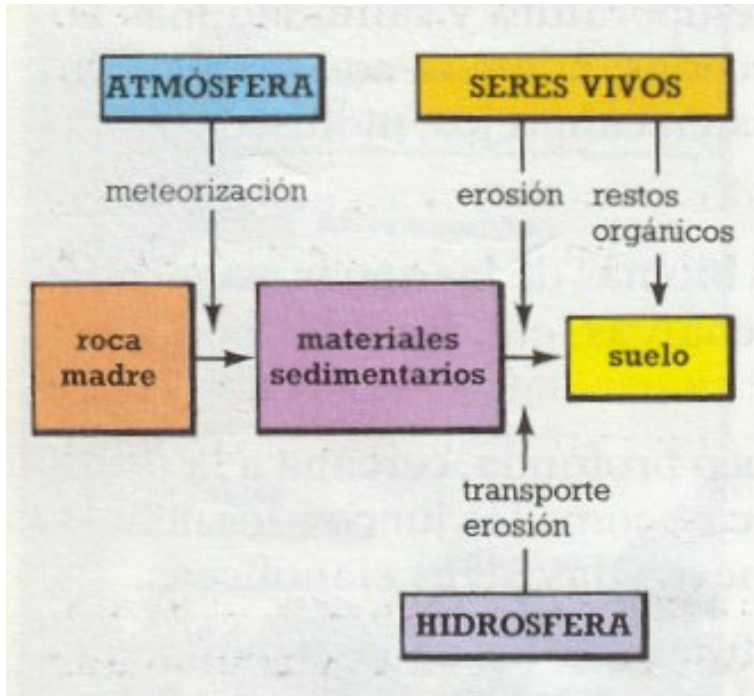


Figura 2: Formación del suelo.

Los suelos naturales están estructurados en distintas capas (perfiles) según varían las profundidades bajo la superficie:

- La capa superior, horizonte A o suelo superficial, suele ser más rico en materia orgánica y de color más oscuro que las inferiores.
- La capa media, horizonte B o suelo profundo, del perfil suele ser más rica en arcilla y de color más claro que la superior.
- La capa inferior, el horizonte C, que constituye en general la roca madre del suelo, pudiendo ser de gran espesor, delgado o incluso no existir.



Figura 3: Capas u horizontes del suelo.

5.2. Propiedades físicas del suelo.

Desde el punto de vista físico, el suelo está constituido por una fracción mineral (arena, arcilla, caliza) y otra fracción orgánica (humus) que forman la parte sólida del suelo, además de agua y aire presentes en los huecos o poros. Las proporciones de arcilla y arena en combinación con la materia orgánica son las responsables de las capacidades de retención hídrica y aireación del suelo. El volumen vacío comprendido entre las partículas sólidas constituye la *porosidad* del suelo. Por lo general, del volumen total del suelo la mitad está ocupado por los sólidos y la otra mitad está ocupado por los poros. Estos son muy irregulares en cuanto a tamaño, forma, dirección y número dependiendo de la textura del suelo. Los poros están ocupados por aire y por agua en proporciones que dependen del tamaño del mismo y de la humedad del suelo. Así, suelos con gran contenido en arcilla y bajo en materia orgánica presentan problemas de aireación por exceso de acumulación de agua al tener poros pequeños, y suelos ricos en arena, con poros grandes, no retienen suficiente agua para asegurar el crecimiento de las plantas durante los períodos secos.

El tamaño de las partículas minerales en el suelo oscila entre el nivel submicroscópico de las arcillas, de diámetro menor a 0,002 mm, al de las piedras con diámetros mayores a 76 mm. Las piedras y las gravas, diámetro entre 2 y 76 mm, son inertes en cuanto a la capacidad de soportar crecimiento vegetal, pero afectan a las propiedades físicas del suelo como permeabilidad, protección contra la erosión, soporte mecánico y pueden constituir factores limitantes para el cultivo. Las partículas minerales de menor tamaño a 2 milímetros constituyen la *tierra firme*. Las de diámetro comprendido entre los 2 y 0,05 mm se consideran arenas mientras las menores 0,05 y mayores a 0,002 constituye el limo. Las partículas menores de 0,002 mm se consideran arcilla. Químicamente, la arcilla es mucho más activa que el limo y la arena, y junto a la materia orgánica constituye el almacén de nutrientes de los vegetales.

La proporción de arena arcilla y limo se denomina “textura o composición granulométrica del suelo” y atendiendo a ella se suelen clasificar los suelos. Desde el punto de vista de sus cualidades para el crecimiento vegetal los suelos más favorables son los que presentan una *textura franco y franco-limoso*, con una mezcla de arena, limo y arcilla equilibrada, para retener las cantidades necesarias de agua y nutrientes, además de permitir una buena aireación.

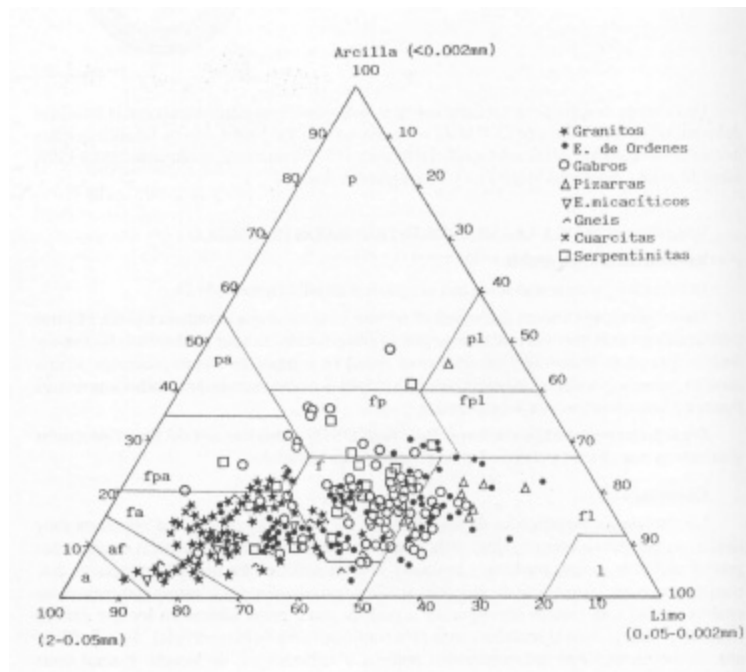


Figura 4: Textura típica suelos provincia de A Coruña (Calvo de Anta et al.).

Por su parte estas partículas minerales individuales se enlazan o cementan por materia orgánica o compuestos minerales formando unidades de mayor tamaño (agregados), conformando la *estructura del suelo*. Según la forma y ordenación se distinguen diferentes tipos de estructuras que confieren propiedades diferentes al suelo. De todas maneras la estructura del suelo puede variar a lo largo del año, por acción de los agentes meteorizantes (alternancia entre humedad y sequedad, hielo y deshielo, etc.) y la actividad de los organismos vivos (raíces de plantas, pequeños organismos, lombrices y microorganismos). De forma general, estructuras migajosas con agregados pequeños y porosos facilitan la buena circulación de agua y aire a través del suelo.

La *densidad aparente* varía según su grado de compactación y en suelos minerales normales los valores más frecuentes varían de 1,2 (suelos arcillosos) a 1,4 g/cm³ (suelos arenosos). La materia orgánica hace descender la densidad aparente por dos motivos: es más ligera que la materia mineral e incrementa la porosidad. En cuanto a la densidad real, densidad de las partículas sólidas, suele variar entre 2,5 a 2,7 g/cm³.

Otra propiedad física del suelo es la *consistencia* o cohesión que mantiene unidas a las partículas, lo que determina la resistencia que ofrece ese suelo a la penetración de las raíces y el mayor o menor esfuerzo que se necesita para trabajarlo. Según el contenido de agua en el suelo, la consistencia se expresa en los términos de dureza, firmeza, plasticidad, y/o pegajosidad. Esta propiedad está íntimamente relacionada con el contenido de arcilla.

5.3. Propiedades físico-químicas del suelo.

Los minerales más abundantes en los suelos son los silicatos o aluminosilicatos seguido de los óxidos, principalmente de hierro aluminio y silicio. El componente principal de estos minerales es el oxígeno, que suele sobrepasar la mitad del total, seguido de aluminio, hierro, potasio, calcio, magnesio y sodio. Los demás elementos que componen la parte mineral no sobrepasan el 5 por 100 del peso total. La alteración de los *minerales primarios*, los que forman originalmente las rocas, por la acción de diversos agentes físicos, químicos y biológicos conduce a su transformación en minerales secundarios, proporcionando una parte importante de los nutrientes vegetales.

Las partículas del suelo cuyo tamaño es inferior a dos micras constituyen el *complejo coloidal*, responsable de la mayor parte de la actividad físico-química que se desarrolla en el suelo. El complejo coloidal está constituido fundamentalmente por la arcilla y el humus, por lo que también se le denomina complejo *arcilloso-húmico*. Este tiene una gran capacidad absorbente de-

bido a su gran superficie específica y condiciona el intercambio iónico. Las partículas coloidales del suelo tienen carga negativa, por lo que atraen y retienen a los cationes contenidos en la solución del suelo, se produce un intercambio continuo y rápido con los cationes contenidos en la disolución del suelo, *intercambio de bases*. El poder de retención, o fuerza con que un catión está absorbido en el complejo arcillo-húmico varía según sea el catión (ej. $H^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+ > Na^+$). Es por ello que en la mayoría de los suelos el ion de calcio representa la mayor parte de los cationes adsorbidos, seguido de los de magnesio, potasio, sodio y amonio. Aún así cationes con menor poder de retención se pueden intercambiar por otros de mayor si la concentración del primero en la disolución del suelo es mayor desplazando al segundo de la superficie del complejo arcilloso-húmico. De manera genérica la proporción relativa de los cationes adsorbidos en los sitios de intercambio de los coloides del suelo depende:

- Concentración disponible de cada catión.
- Intensidad del lavado y otros procesos de extracción.
- Fuerza con que es adsorbido cada catión.

En el suelo también se produce la adsorción de aniones, aunque este es un fenómeno muy complejo, produciéndose interferencias no sólo entre ellos, sino también con diversos cationes, tales como el de calcio y el de aluminio. El complejo arcilloso-húmico tiene carga negativa, con lo que existe una repulsión hacia los aniones, sin embargo algunas partículas coloidales (caolinita, arcillas amorfas, hidróxidos de hierro y de aluminio) tienen unas características peculiares que les permiten la adsorción de aniones. De todas maneras la adsorción de aniones nitrato y cloruro es prácticamente nula. En suelos ácidos se produce alguna adsorción del anión sulfato, mediante intercambio con aniones hidróxido (OH^-) contenidos en hidróxidos de hierro y aluminio. Los aniones fosfato son prácticamente adsorbidos por todos los suelos mediante intercambio de aniones OH^- ligados a hidróxidos de hierro y aluminio.

El movimiento de iones en el suelo se realiza por *circulación del agua*, moviéndose los iones no adsorbidos por el coloide arcilloso-húmico con el agua del suelo, y por *difusión*, cuando existe en la solución del suelo un gradiente de concentraciones, produciéndose un desplazamiento de los iones hacia las zonas más diluidas.

5.4. Acidez del suelo.

La mayoría de los suelos tienen un valor de pH que oscila entre 4 y 8, estando el óptimo en la mayoría de los cultivos entre 6 y 7,5. Este valor está muy influido por la cantidad de iones Al^{3+} e iones básicos adsorbidos en el coloide. Casi todos los suelos con pH superior a 8 poseen un exceso de sales

o un elevado porcentaje de Na^+ en las zonas de intercambio catiónico. Los suelos con pH inferior a 4, generalmente, contienen ácido sulfúrico.

El pH del suelo se ve influenciado por los procesos de lavado eliminando bases del suelo, disminuyendo por tanto su concentración con el tiempo. Este proceso de descenso gradual es particularmente importante en suelos jóvenes y pierde influencia en los maduros. Además existe una influencia compleja de la vegetación por la adición de materia orgánica que aporta y por que influye en los procesos de lavado. El valor del pH además puede ser modificado por la adición de ácidos o materiales que los originen o bien por bases, si bien el cambio se ve amortiguado por el *poder tampón* del suelo. Este *poder tampón* viene dado por la capacidad de intercambio catiónico que posee el suelo. Así los suelos arcillosos y ricos en humus (con gran capacidad de intercambio) tienen un fuerte poder amortiguador, puesto que necesitan una gran cantidad de Ca^{++} para sustituir a todos los H^+ , en el supuesto de que ese suelo fuera ácido.

Respecto al crecimiento de las plantas el pH tiene poco o ningún efecto directo sobre el crecimiento si los demás factores permanecen favorables. Los efectos indirectos son numerosos e importantes, así descensos del pH por debajo del 5 se libera Al^{3+} que tiene una gran toxicidad. El principal efecto del pH sobre el crecimiento de las plantas ocurre a nivel de la nutrición. El pH del suelo influye en la tasa de liberación de nutrientes por meteorización, en la solubilidad de todos los materiales del suelo y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en los sitios de intercambio catiónico.

5.5. Materia orgánica del suelo (Humus).

La materia orgánica del suelo consta de partes vivas (excluidas las raíces vivas de las plantas) y partes muertas. Se pueden distinguir residuos frescos o materia orgánica originan, materia parcialmente descompuesta y el humus, materia negra resultante de la descomposición de la materia orgánica y con propiedades catalíticas o coloidales en gran grado. Las principales funciones de la materia orgánica son el suministro de nutrientes a las plantas así como la unión de las partículas minerales, formando agregados que facilitan una estructura abierta, con un volumen de poros adecuado para una buena aireación.

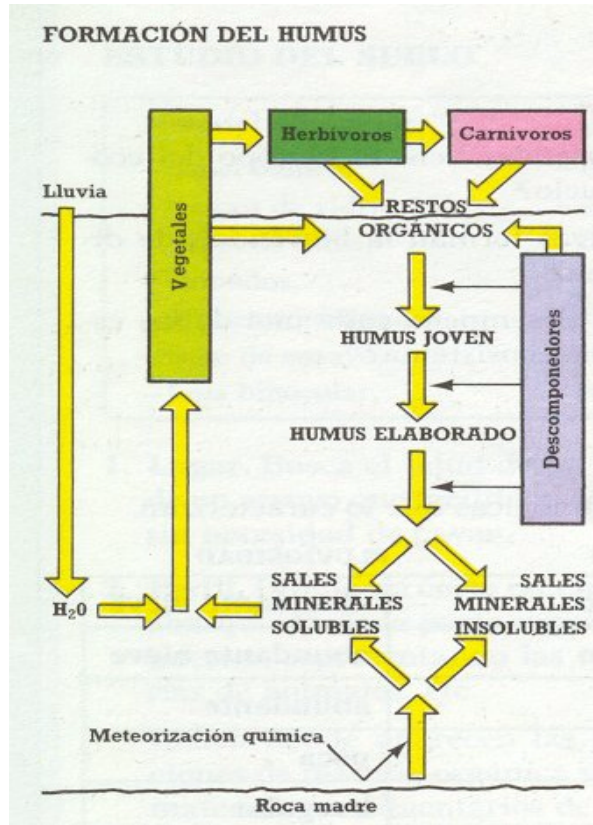


Figura 5: Formación del humus.

5.6. Compuestos químicos.

Desde el punto de vista químico, la tierra es una reserva de todos los elementos minerales que son necesarios para la vida de las plantas. Se han reconocido como esenciales para el crecimiento de las plantas dieciséis elementos, tres de ellos, carbono, hidrógeno y oxígeno, son suministrados por el agua y el aire (dióxido de carbono). Los restantes se consideran nutrientes vegetales y se agrupan en macronutrientes, clasificados según la fuente principal de suministro) y micronutrientes.

Tabla 1. Elementos constituyentes del suelo (Sánchez Rodríguez, 1986)

Elementos principales	%
Nitrógeno	0.1-1.8
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.1-1.7
Potasio (K ₂ O)	0.1-2.3
Azufre (S)	0.5-3
Calcio (CaO)	1-20
Sales totales (KCl)	0.5-2
Elementos menores	ppm
Boro	60-360
Cadmio	15-40
Cobre	90-260
Hierro	8000-15000
Mercurio	1-5
Manganeso	300-1300
Molibdeno	10
Plomo	300-400
Zinc	800-1200

De todas maneras, las plantas absorben parte de los elementos que se encuentran disponibles en el suelo, no porque los necesiten, sino porque simplemente se hallan disponibles, habiéndose identificado más de 50 elementos diferentes en los tejidos vegetales. Así las plantas contienen cantidades importantes de silicio, aluminio y sodio siendo este último beneficioso por sí mismo o por ser sustituto parcial del potasio.

Teniendo en cuenta todos los puntos anteriores los suelos pueden clasificarse según se indica el figura 6.

TIPOS DE SUELOS

SUELOS BRUTOS		SUELOS JOVENES		SUELOS EVOLUCIONADOS	
Horizonte C	Sin humus	Horizonte A	PODSOL Gras Rico en humus	Horizonte A	TIERRAS ROJAS Pardo-rojizo Pobre en humus
Roca madre	Suelos desérticos Aluviales	Horizonte C	RANKER Poco humus	Horizonte B	Horizonte B Muy desarrollado con depósitos de óxidos de hierro y de aluminio.
		Roca madre	CHERNOZEM (Castaño) Rico en humus	Roca madre	Roca madre
			RENTSINA	Clima	Cálido-seco
			Rocas calizas	Zona	Mediterráneo
			Rocas silíceas Altas morañas		
			TIERRAS PARDAS Pardo Rico en humus		
			TIERRAS OSCURAS Gras Muy rico en humus		
			TIERRAS SALINAS		
			POBRE en humus		
			Muy frío y húmedo		
			Zonas pantanosas y lacustres		
			Muy frío y seco		
			Zonas áridas y estepas		
			Frio-húmedo		
			Bosques de coníferas		
			Templado húmedo		
			Bosque de hoja caduca		
			Muy cálido y húmedo		
			Tropical		

6. ESTRATEGIA DE ELECCION DE RESIDUOS Y ANALISIS.

Para la elección de los residuos se han de basar en tres premisas:

1. Los residuos elegidos no serán residuos ni tóxicos, ni peligrosos. Para ello se ha de realizar unos rigurosos análisis de los mismos (ver análisis a realizar en punto 6.1)

2. Deben ser producidos en gran cantidad en la zona y cerca del lugar de actuación. El transporte de los distintos materiales residuales desde su lugar de producción al lugar de elaboración del suelo, el proceso de formulación y mezcla, el transporte del suelo artificial hasta el lugar de empleo, así como, los costes de preparación del terreno y colocación del material, son muy elevados y deben ser tenidos en cuenta en todo momento, ya que de ellos dependerá, en gran parte, la viabilidad de este sistema como alternativa de gestión de residuos.

Es importante, por tanto, que los residuos, además de producirse en cantidades significativas, se obtengan en instalaciones próximas al lugar de elaboración y empleo.

3. Sus características deben ser asimilables a las que poseen los elementos que forman parte de un suelo natural. Cada uno de los materiales que se vayan a utilizar en la formulación de un suelo artificial debe tener una composición, características o naturaleza tal, que haga que la mezcla del conjunto de ellos, en las proporciones adecuadas, adquiera las propiedades de un suelo natural. Desde el punto de vista biológico, un residuo puede ser empleado como sustituto de alguna de las fracciones que forman parte de un suelo natural:

- Arcilla
- Limo
- Arena
- Materia orgánica o precursora de esta
- Enmiendas o fertilizantes

La composición biológicamente más adecuada de un suelo artificial, y la proporción utilizada de cada material, depende de la o las especies a cultivar en él, ya que a cada especie vegetal se le adecúa mejor un tipo de suelo.

6.1. Análisis a realizar:

Para asegurar que los residuos empleados en la formulación del suelo son adecuados y no conllevarían una contaminación en el lugar de aplica-

ción, es necesario un exhaustivo análisis de los residuos empleados en la formulada.

A continuación se presenta los principales análisis a realizar, con sus correspondientes métodos estandarizados. Estos análisis han sido extraídos de la Propuesta de Directiva de Vertederos de Residuos (91/C190/01) , COM (91) 102 SYN 335 de 25 de Abril de 1991, que si bien no fue aprobada en la Directiva definitiva, se consideran idóneos para este caso.

Tabla 2. Rangos de evaluación de residuos

Parámetro	Rango Residuo Peligroso	Rango Residuo Inerte
pH	4 - 13	4 - 13
TOC	10 - 200 mg/l	<20 mg/l
Arsénico	0,2 - 1 mg/l	<0,1 mg/l
Plomo	0,4 - 2 mg/l	La suma total de estos metales: < 5 mh/l
Cadmio	0,1 - 0,5 mg/l	
Cromo	0,1 - 0,5 mg/l	
Cobre	2 - 10 mg/l	
Níquel	0,4 - 2 mg/l	
Mercurio	0,02 - 0,1 mg/l	
Cinc	2 - 10 mg/l	<10 mg/l
Fenoles	20 - 100 mg/l	<5 mg/l
Fluoruros	10 - 50 mg/l	<50 µg/l
Amoniaco	0,2 - 1 mg/l	<0,5 g/l
Cloruros	1,2 - 6 g/l	<0,1 mg/l
Cianuros	0,2 - 1 mg/l	<1 g/l
Sulfatos	0,2 - 1 g/l	<3 mg/l
Nitratos	6 - 30 mg/l	<0,3 mg/l
AOX	0,6 - 3 mg/l	<10 µg Cl/l
Solventes	0,02 - 0,1 mg Cl/l	<0,5 µg Cl/l
Pesticidas	1 - 5 µg Cl/l	

Tabla 3. Métodos de análisis

Parámetro	Método
pH	ISO-DP 10 523 ó DIN 38404-C5-84
TOC	DIN 38409-H3-85
Arsénico	ISO 6595-1982 ó DIN 38405-E6-81
Plomo	ISO 8288-1985 ó DIN 38405-E6-81
Cadmio	ISO 8288-1982 ó DIN 38405-E19-80
Cromo VI	ISO-DIS 9174-88 ó DIN 38405-D24-87
Cobre	ISO 8288-1982 ó DIN 38406-E21-80
Níquel	ISO 8288-1982 ó DIN 38406-E21-80
Mercurio	ISO 5666-1/3-88 ó DIN 38406-E12-80
Cinc	ISO 8288-1985 ó DIN 38406-E8-85
Fenoles	ISO 6439-1990 ó DIN 38409-H16-84
Fluoruros	ISO-DP 10 359-1 ó DIN 38406-D4-85
Amoniaco	ISO 7150-1983 ó DIN 38406-E5-83
Cloruros	ISO-DIS 9174-88 ó DIN 38405-D1-85
Cianuros	DIN 38405-D14-88
Sulfatos	ISO-DIS 9280-1 ó DIN 38405-D5-85
Nitratos	ISO 6777-1983 ó DIN 38405-D10-81
AOX	ISO-DIS 9562 ó DIN 38409-H14-85
Solventes Clorados	ISO-DP 10 301
Pesticidas Clorados	G.C (columna capilar)

7. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Los beneficios derivados de este nuevo sistema de gestión de residuos se centran en dos vertientes, por una parte, los que se refieren a los lugares de aplicación de los suelos artificiales, y por otra los que se refieren a las propias características del material elaborado.

7.1. Con respecto a los lugares de actuación:

- Recuperación de zonas degradadas, bien sea por la actividad minera o industrial, o por otras actividades que agoten la fertilidad del suelo.
- El uso de suelos artificiales, con un alto contenido en materia orgáni-

ca y nutrientes, en cimas erosionadas, propiciará el comienzo de un nuevo transporte de los mismos desde las zonas altas hacia el valle, en un proceso natural de desplazamiento de la fertilidad.

- Evitar los procesos de erosión, que tienden a provocar desertización, mediante la fijación del suelo por utilización del suelo artificial y mejora de la cubierta arbórea por introducción de diferentes especies vegetales superiores, cuyas raíces realizan un efecto de retención del suelo. La vegetación arbórea ofrece mayor protección que el matorral o pastizales y, cuanto mayor sea la espesura de la vegetación, mayor será la protección que preste al suelo.
- Incremento de la calidad paisajística del monte a medio y largo plazo.

7.2. Con respecto a las características del material elaborado:

- Un claro beneficio medioambiental, con la recogida y reciclaje de una serie de residuos, que de otra manera irían a parar a vertederos (ocupando un gran espacio en ellos), con la consiguiente problemática derivada de la generación de gases y lixiviados. Al aprovechar estos residuos como materia prima (suelo vegetal), se consigue incrementar la disponibilidad de recursos naturales, consiguiendo una reducción del impacto medioambiental producido.
- Por otra parte, y gracias a las experiencias anteriores, al conocer la evolución de las especies, de las condiciones del suelo y de los factores ambientales, podremos evaluar el potencial biológico del suelo, los posibles problemas de estructura o de composición, la fertilidad u otros factores que lo caractericen, para realizar formulaciones específicas encaminadas a optimizar el crecimiento de cada una de las especies que formen parte de un proyecto de reforestación.

8. BIBLIOGRAFIA

- Buurman, B. Van Lagen, B. and Velthorst, E.S. «*Manual for Soil and Water analysis*». Ed. BaekHays Publishers. Leiden (the Netherlands), 1996.
- Castillo, A. Gallardo, C.S., Rodríguez, L.A., Vivas, J. y Saa, A. 1999. “*Contaminación de los suelos y de las aguas subterráneas*”. Manual de diagnósticos medioambientales. P. 191-273.
- Calvo de Anta, R. Macias Vázquez, F. y Rivero Cruz, A. “*Amplitud agronómica de los suelos de la provincia de La Coruña*”. (Cultivos, pinos, robles, eucaliptos y castaños)”. Dpto. de Edafología y Química aplicada. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. Ed. Imprenta Provincial. La Coruña, 1992.

- Castro, M., Freire, L. y Prunell, A. “*Guía das árbores de Galicia, autóctonas e ornamentais*”. Ed. Xerais de Galicia. Vigo, 1989.
- Cobertara, E. “*Edafología aplicada*”. Ed. Cátedra, S.A. Madrid, 1993
- Duchaufour, P. «*Manual de Edafología*». Ed. Masson, S.A. Barcelona, 1987.
- Ewers, J. E., Ergas, S. J., Chang, D. P. and Schroeder, E. D. «*Principios de biorrecuperación. Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos*». Ed. McGraw-Hill. Madrid, 1999.
- Fundación “La Caixa”. “*Gestión y utilización de residuos urbanos par la agricultura*”. Ed. Aedos. Barcelona, 1995.
- Guitian Ojeda, F. “*Itinerarios de los suelos en Galicia*”. Ed. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, 1974.
- González Corregidor, J. y Parejo, A. “*Plantas silvestres de la flora ibérica*”. ED. Grijalbo. Barcelona, 1999.
- Hinrich, L. B., McNeal, B. L. y O’Connor. “*Química del suelo*”. Ed. Limusa, S.A. México, 1993.
- Macías Vázquez, F. y Quintas, Y. 1992. «Datos para la recuperación de suelos de minas de Galicia : capacidad natural y alternativas de mejora» / Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. — N. 17 . p. 97-106
- Navarro Blaya, S. y Navarro García Q. «*Temas de química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*». Ed. Academia, S.L. León, 1984.
- Porta Casanellas, J., López Acevedo Reguerín, M. y Roguero de Labara, C. «*Edafología para agricultura y medio ambiente*». 2ª edición. Ed. Mundiprensa. Madrid, 1999.
- Sánchez Rodríguez, B., Dios Vidal, G. y García Sánchez, «*La fertilidad de los suelos de cultivo de la provincia de Pontevedra*». Misión Biológica de Galicia, CSIC. Pontevedra, 1986.
- Silva - Pando, F. J. y Rigueiro Rodríguez, A. «*Guía das árbores e bosques de Galicia*». Ed. Galaxia. Vigo, 1992.
- Terreros Cesallos, J. F. «*Temas de Edafología*». Ed. Librería central. Zaragoza, 1985.
- Thompson, L. M. and Troeh, I. R. «*Los suelos y su fertilidad*». 4ª edición. Ed. Reverte, S.A. Barcelona, 1988.